

האם גורל העץ כתוב בטבעות השנתיות? אפיון עצים ביער כרמים בעקבות החורף השחון 1998/99

גבריאל שילר, יוג'ין דוד אונגר המחלקה למשאבי טבע, המכון לגידולי שדה

vcgabi@volcani.agri.gov.il

אברהם גניזי המחלקה לסטטיסטיקה ותכנון ניסויים, מרכז וולקני, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, בית-דגן

תקציר

מטרת המחקר היתה למצוא הבדלים אשר יהוו בסיס להסבר גורמי התמותה בין שתי קבוצות עצי אורן ירושלים מיער כרמים שממזרח ללהב: האחת של עצים שנפגעו ומתו והשנייה של עצים ששרדו בבצורת הקשה של חורף 1998/9. נעשה ניסיון להבחין בין שתי קבוצות העצים על-פי תגובתם לזמינות המים (כמויות הגשמים) כפי שהדבר מתבטא במאפיינים של הטבעת השנתית, המייצגת את כלל הפעילות הפיסיולוגית של העץ. לשם כך השתמשנו בשיטה הדנדרוכרונולוגית, כלומר, נמדד עובי הטבעות השנתיות ועובי העצה הקיצית בכ-100 עצים, מחציתם מתים ומחציתם חיים. העצים נבחרו באופן של זוגות תואמים בקוטר הגזע. ניתוח סטטיסטי של תוצאות המדידות בהתאם למועד הנטיעה והפגיעה הראה כי קיימים הבדלים משמעותיים בעובי הטבעות השנתיות וביעור עובי העצה המאוחרת מתוך עובי הטבעת. כלומר, העצים שנפגעו היו שונים מהותית מהעצים ששרדו.

מילות מפתח (נוספות על מילות הכותרת): אורן ירושלים, דנדרוכרונולוגיה, עצה מאוחרת

מבוא

תמותה של עצי אורן ירושלים בהיקף נרחב, שלא נצפה בעבר, התרחשה בכמה יערות במרכז הארץ ובדרומה לאחר החורפים השחונים במיוחד של 1998/99 ו-1999/2000 (הורוביץ ויום-טוב, 2003). במקומות אחדים ניתן היה לראות קבוצות גדולות של עצים מתים והיה ברור כי תנאי בית הגידול (עומק הקרקע, מידת אבניתה ואופי המסלע), היו את הגורם המרכזי לזמינות מים נמוכה ולתמותה. אך במרבית המקומות העצים המתים היו מפוזרים בינות לחיים, באופן שלא ניתן היה לייחס את

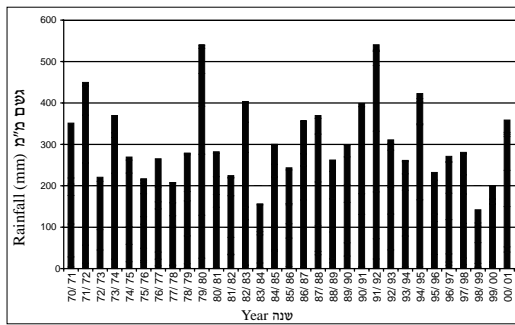
התמותה לגורם ברור ומוגדר הקשור בתנאי בית הגידול. ונשאלה השאלה, במה שונים העצים שמתו מאלו ששרדו, הגדלים בקרבם המיידית בתנאים שנראים זהים. ניסיון לזהות הבדלים גנטיים בין שתי קבוצות העצים – השורדים והמתים – בשיטה הביוכימית-גנטית PCR based on RAPD (Korol et al. 2001, 2002) לא הניב תוצאות משביעות רצון. על-כן פנינו להשתמש בשיטה הדנדרוכרונולוגית, כלומר, מדידת רוחב הטבעות השנתיות. רוחב טבעות הגידול הוא תוצר של כלל הפעילות הפיזיולוגית של הצמח בהשפעת תנאי הסביבה, המושקע גם בעצת הגזע. באזורים ים-תיכוניים יובשניים ההשפעות האקלימיות (כמות הגשמים וחלוקתם) על הפעילות הקמביאלית עולות על ההשפעות האחרות הנובעות מבית הגידול (Fritts 1974; Rigling et al. 2002; Cherubini et al., 2003). השפעת תנאי הסביבה באזורים ים-תיכוניים על הפעילות הקמביאלית של אורן ירושלים נחקרה רבות וספרות בנושא מרוכזת במאמרו של שמחה לב-ידון (Lev-Yadun, 2000). המחקרים הוכיחו כי השינויים בתנאי בית הגידול, בעיקר שינויים אקלימיים, מתבטאים היטב בעוצמת הפעילות הקמביאלית (עובי הטבעת השנתית והמבנה שלה). בעצים בני אותו גיל הגדלים בבית גידול אחיד ככל שניתן, ההבדלים בעובי הטבעות השנתיות והמבנה הפנימי שלהן לאורך השנים מצביעים על הבדלים פיזיולוגיים-גנטיים ביניהם. מטרת העבודה היתה, על-כן, לבדוק אם קיימים הבדלים מובהקים בין העצים שנפגעו ומתו לבין העצים שנשארו בחיים, ברוחב הטבעות השנתיות ובעובי העצה המאוחרת בכל טבעת, כסמן להבדלים פיזיולוגיים-גנטיים ביניהם.

חומרים ושיטות

נערך סקר מקיף ביערות יתיר, להבים, להב וכרמים במורדות הר חברון, שבהם התרחשה תמותה רבת היקף לאחר החורפים השחונים 1998/99 ו-1999/00. בסיום הסקר הוחלט למקד את הבדיקות ביער כרמים, ממזרח ללהב. נבחרו שתי חלקות,

מפרסומי מנהל המחקר החקלאי, בית-דגן, סדרה 2004 מס' 103. מאמר מסכם מחקר 274-0104 (מספר 90-3-053-00 ברשומות הקק"ל). המאמר עבר ביקורת מדעית.

איור 1: כמות הגשמים השנתית בלהב בחורפים 2000-1953
Figure 1. Seasonal rainfall in Lahav during the years 1953-2000



העץ" (חי או מת) כמשתנים קטגוריים, והאינטראקציה ביניהם; "גיל העצים" ו"כמות הגשמים" והאינטראקציות ביניהם, והאינטראקציה בין "מצב העץ" ו"כמות הגשמים השנתית" על המשתנים "עובי הטבעת השנתית", "עובי העצה המאוחרת בטבעת" ו"אחוז העצה המאוחרת מכלל עובי הטבעת השנתית". המודל הסטטיסטי נוסח כדי להתחשב בעובדה שמדידות עובי הטבעת באות מאותם עצים בכל שנה (repeated measures).

תוצאות

טבלה 1 מראה את מספר הערכים של עובי הטבעות השנתיות בהתאם לשנת הנטיעה ו-"מצב העצים" (חי או מת) ובהתאם לשנת ההיווצרות המשוערת. יש לשים לב לירידה המשמעותית במספר העצים המוגדרים מתיים בשנת 2000, דבר המאשר את

טבלה 1: מספר העצים החיים והמתים המיוצגים בניחות הטבעות השנתיות בכל שנת נטיעה

שנת הטבעת	שנת הנטיעה				סה"כ טבעות
	1971		1975		
	מצב העץ מת	מצב העץ חי	מצב העץ מת	מצב העץ חי	
1985	24	20	19	9	72
1986	24	22	20	14	80
1987	24	23	21	16	84
1988	24	23	22	22	91
1989	24	23	22	24	93
1990	24	23	22	24	93
1991	24	23	22	24	93
1992	24	23	22	24	93
1993	24	23	22	24	93
1994	24	23	22	24	93
1995	24	23	22	24	93
1996	24	23	21	24	92
1997	33	23	19	24	88
1998	27	23	17	24	81
1999	3	23	7	24	57
2000		23	3	23	49
2001		22		23	45
סה"כ	330	386	303	371	1390

שבהן תמותת העצים התרחשה בצורה מפורזת בשטח; האחת ניטעה בשנת 1971 והשנייה בשנת 1975.

בכל אחת משתי החלקות שנבחרו סומנו באקראי 25 עצים שהתייבשו, ובקרבנו המיידית של כל עץ מת סומן עץ חי, שהיה בעל קוטר גזע דומה ככל האפשר. עצים מסומנים אלו נכרתו ומכל עץ נחתכה פרוסת גזע בגובה של 1.30 מ' מפני הקרקע. עובי הטבעות השנתיות נמדד בפרוסות העץ בבינוקולר בעל עדשה עם שנתות המאפשרת מדידה בדיוק של 0.01 מ"מ. עצים חיים משנת הנטיעה 1971 ומשנת הנטיעה 1975 סומנו כ-חי-71 ו-חי-75 והמתים כ-מת-71 ו-מת-75. מדידת עובי הטבעות החלה בטבעת החיצונית שנוצרה אחרונה (כלומר, הראשונה שמתחת לקליפה) והתקדמה כלפי מרכז העץ; נמדדו רק 17 הטבעות הצעירות (קצב הגידול של הטבעות הראשונות (הפנימיות), הוותיקות, אינו מושפע מתנאי הסביבה).

כיון שכל עץ מגיב עצמאית לתנאי הסביבה, דבר המתבטא ברוחב הטבעות, ולעיתים נוצרות מה שמכונה טבעת מדומה או טבעת חסרה, הרי שבעבור כל עץ צויר בנפרד גרף המתאר את מהלך עובי הטבעות עם השנים. גרפים אלו הושוּו עם הגרף המתאר את מהלך הגשמים באזור, שהם אחד הגורמים המשפיעים ביותר על הצמיחה. שיטה זו מאפשרת זיהוי קטעים בעייתיים (רצף של טבעות שנתיות אשר לכאורה מתנהגות אחרת מהמקבילות להן ברוב העצים) ובדיקה חוזרת לשם אימות הנתונים (Fritts, 1976). לדבר זה חשיבות רבה, היות שלא ברור מתי מתו העצים שנמצאו מתיים ולכן לא ברור איזה שנים הטבעות שלהם מייצגות. מספר העצים בכל קבוצה שבהם הוגדרו ונמדדו הטבעות בביטחון מופיע בטבלה 1. רוחב הטבעות נמדד לאורך הרדיוס הגדול ביותר בחתך הרוחב של כל עץ ועץ, כי שם הטבעות ברורות ביותר.

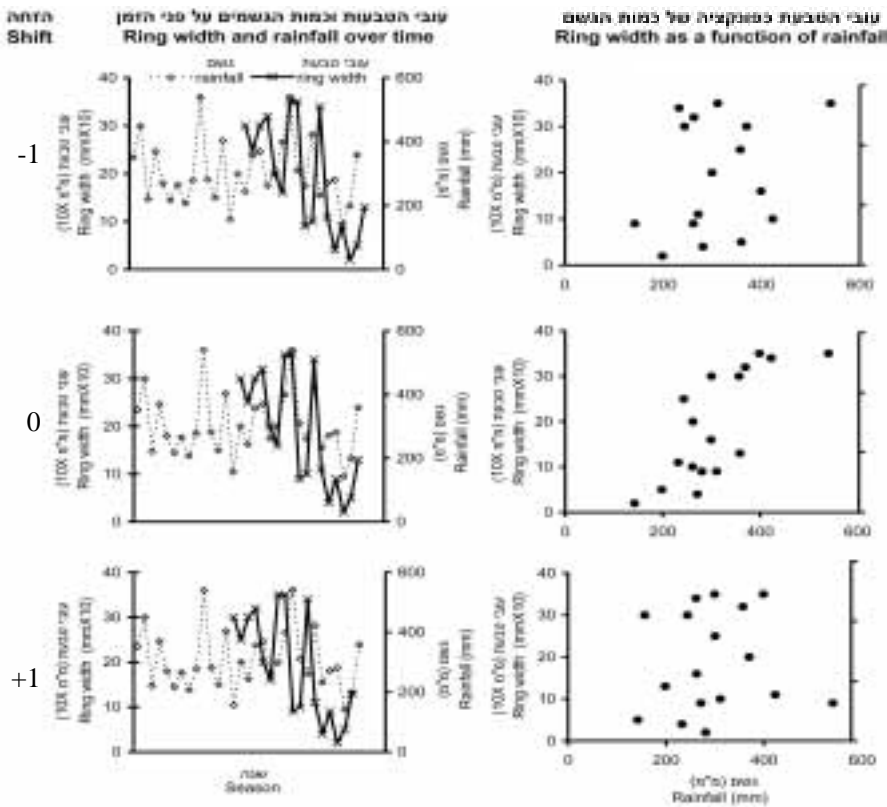
איור 1 מתאר את כמות הגשמים השנתית באזור להב בין השנים 1953 ו-2000. כמות הגשמים הזעומה של חורף 1998/99 ביחס לשאר החורפים מזדקרת לעין, כמו זו של חורף 1962/63. **ניתוח סטטיסטי:** הנתונים העומדים לרשות ניתוח סטטיסטי הם סדרות המתחילות בשנת 1985 וכוללות 17 שנה בעבור העצים החיים ו-14 שנה בעבור העצים המתים (טבלה 1). כלומר, יש 1391 ערכים של עובי טבעות שנתיות, ולכל אחת מהן נרשם עובי העצה המאוחרת ואחוז עובי העצה המאוחרת מכלל עובי הטבעת השנתית. בניחות הדנדורוכרונולוגי נמצא כי ב-73 עצים מכלל 93 העצים שנבדקו, הטבעת המבוגרת ביותר שנבדקה היתה זו של שנת 1985. הטבעת השנתית המבוגרת המשותפת לכלל 93 העצים היא של שנת 1989, והצעירה ביותר המשותפת היא של שנת 1995. בקבוצת העצים שנמצאו מתיים יש הבדלים במועד התמותה: יש עצים שמתו בשנת 1999, ויש שמתו לפני כן. מספר העצים בקבוצה שנשתלה בשנת 1971 שמתו בעקבות החורף השחון 1998/99 היה 14, ו-10 בקבוצה שנשתלה בשנת 1975.

במבחן השונויות (Analysis of variance) נבחנה השפעת הגורמים (factors) "שנת הנטיעה" (1971 או 1975) ו"מצב

איור 2: ההתאמה בין רמת המשקעים לעובי הטבעת השנתית תוך הזחת התיארוך המקורי בשנה אחת לפנים או לאחור. הנתונים הם של עץ אחד חי שנשתל בשנת 1971

Figure 2.

Correspondence between annual rainfall and total ring width, using time shifts of -1, 0 and +1 seasons relative to the assumed synchronization. Data is for one tree planted in 1971 that was alive at the time of the survey.



הטבעות על-ידי בדיקת המתאם עם סדרת כמויות הגשמים. לצורך הבדיקה ייחסנו למהלך עובי הטבעות תיארוכים שונים עד כדי ארבע שנים לפנים או לאחור, ובדקנו את מידת ההתאמה בין כמות הגשמים השנתית (X) ועובי הטבעות השנתיות (Y). תוצאות הבדיקה עבור עץ אחד כדוגמה מוצגות באיור 2. מהאיור נראה כי היחס בין עובי הטבעות לכמות הגשמים מתאים יותר על-פי תיארוך הטבעות כפי שנקבע בתחילה מאשר כאשר חלה תזווה בתיארוך של שנה לכל כיוון, אך היחס בין עובי הטבעות וכמות הגשמים אינו נהיה גרוע יותר אם יש תזווה של שלוש שנים בתיארוך, כנראה עקב המחזוריות בכמות הגשמים (באיור מוצגת סטיה של שנה אחת). באופן כללי, בהתייחס לכל העצים שנבדקו, כאשר התיארוך המיוחס לכל טבעת אינו זה של "השנה האמיתית", נחלש המתאם בין עובי הטבעת השנתית לבין כמות הגשמים השנתית. נמצא גם, כי יש עצים המגיבים באופן מובהק לשינויי הסינכרוניזציה ואחרים המראים תגובה חלשה בלבד.

בדקנו את היחסים שבין עובי הטבעת השנתית לבין כמות הגשמים השנתית בטווח רחב של תוספת או גריעה של שנים ביחס לזה שנקבע בעת המדידה, תוך שימוש ברגרסיה קווית (ליניארית). מידת ההתאמה נקבעה על-ידי מקדם המתאם r^2 . איור 3 מתאר את המתאם בעבור ארבעה עצים מייצגים מקבוצת העצים חי-71. ההנחה היא ששנת 2001 היא הטבעת הראשונה. לעצים 1 ו-3 המתאם הגבוה ביותר היה על-פי התיארוך המקורי בעת המדידה. לעץ 2 קיימות שתי אפשרויות

ההנחה בדבר תמותה רחבת הקף בעקבות החורף השחון של 1998/99.

מידת האחידות של החומר שניבדק

כדי לוודא את מידת האחידות (הומוגניות) בין הקבוצות בגודל חתך הרחוב שניבדק, נבדקה בעזרת ניתוח שונות השפעתם של הגורמים "שנת נטיעה" ו-"מצב העץ" (חי או מת), והאינטראקציה ביניהם על אורכו של הרדיוס הגדול, שעליו נמדדו עובי הטבעות השנתיות (בפרוסות הגזע של 93 העצים שנבחרו). נמצא, כי לאף אחד משני הגורמים אין השפעה מובהקת על גודל הרדיוס. כן נמצא, שהיה איוון מבחינת חלוקת גודל העצים בקבוצות בהתאם ל"מצב העץ" או "שנת נטיעה". הממוצע הכללי של הרדיוס הגדול ביותר של 93 העצים בגובה 1.30 מ"ה היה 66.8 מ"מ. בקבוצות העצים חי-71, חי-75, מת-71 ומת-75 ממוצע הרדיוס הגדול היה 65.3, 66.1, 68.0 ו-67.7 מ"מ בהתאמה וסטיית התקן הכללית היתה 15.1 מ"מ.

תיארוך הטבעות

נשאלה השאלה עד כמה מהימן התיארוך של הטבעות השנתיות ועוביין בהשוואה למהלך כמות הגשמים השנתית, שהרי לא ידוע מה גיל העצים במותם ואילו שנים הטבעות שלהם מייצגות. שאלה זו נשאלה כדי לבדוק עד כמה משפיע המתאם שבין עובי הטבעות וכמות הגשמים על נכונות התיארוך. או במילים אחרות, ניסינו לזהות את השנים הנכונות לסדרת

איור 3: מקדמי המתאם (r^2) של רגרסיות קוויות בין עובי הטבעת השנתית וכמות הגשמים השנתית, עבור הזחות שונות בסינכרוניזציה שבין עובי הטבעת וכמות הגשמים לתיארוך המקורי. הנקודה הרביעית משמאל לימין (מודגשת) היא של התיארוך המקורי ללא שינוי. שנת 2000/1 היא השנה המשווערת של הטבעת. הראשונה מתחת לקליפה. הדוגמה היא של עצים מהקבוצה חי-71.

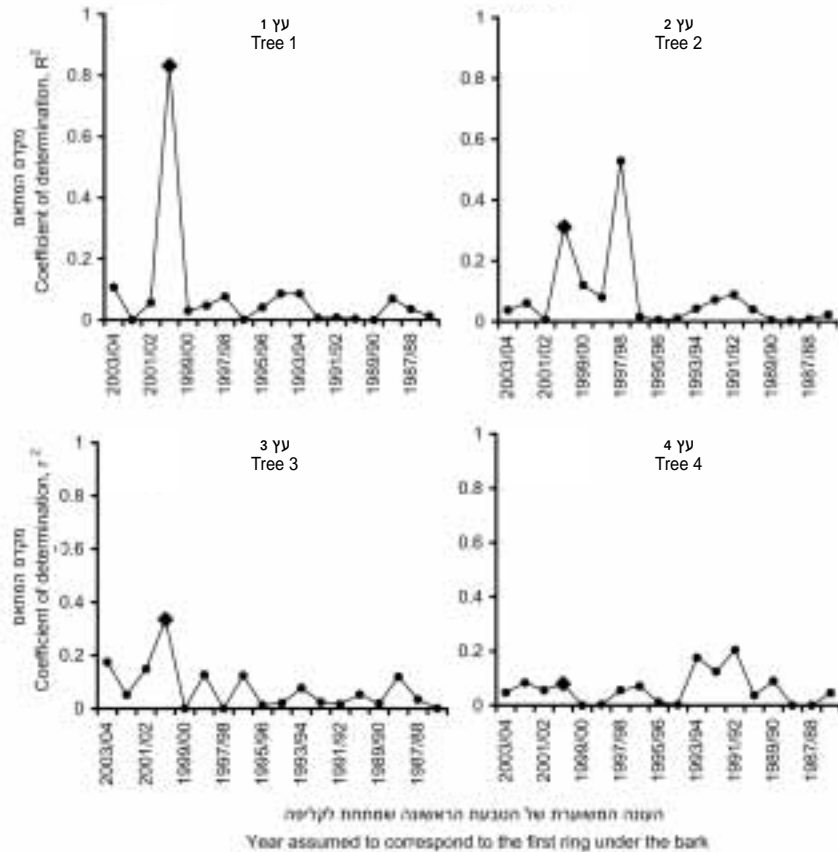


Figure 3. The coefficient of determination (r^2 , Y-axis) obtained for the linear regression between ring width and seasonal rainfall, for various shifts (X-axis) between the ring width and rainfall data, relative to the assumed synchronization.

The assumed synchronization (no shift) is the fourth point in the series (left-to-right). The examples are for trees planted in 1971 that were alive at the time of the survey.

המאוחרת כאחוז מעובי הטבעת' – על רקע כמות הגשמים השנתית – מתוארים באיור 4. מהאיור נראה המהלך הבלתי סדור של ממוצעי עובי הטבעות השנתיות, שמקביל במידה מסוימת למהלך האקראי של כמויות הגשמים השנתיות. נוסף לכך, מהלך הממוצעים של עובי הטבעות השנתיות מראה על ירידה בעוביין עם הזמן, כצפוי עם התבררות העצים; הממוצעים בעצים שנשתלו בשנת 1971 נמוכים יותר ביחס לממוצעי העצים מ-1975 (העקום שוקע). באיור זה נראה גם כי החל בשנת 1994 כבר היה הבדל בין קבוצות העצים החיים למתים בשלושת הפרמטרים הנבחרים בשתי האוכלוסיות: בשנים המוקדמות ממוצעי עובי הטבעות השנתיות של העצים המתים-75 גבוהים מזה של העצים החיים-75, אך החל בשנת 1996 העובי הממוצע של הטבעות קטן יותר. כן נראה שבקבוצת העצים המתים-75 עובי העצה המאוחרת וגם עובי העצה המאוחרת באחוזים מעובי הטבעת נמוכים בהרבה מאשר בקבוצת העצים החיים-75; הם נבדלים החל משנת 1985, כלומר העצים שמתו היו שונים במבנה הטבעת השנתית כבר 14 שנים קודם לבצורת.

להתאמה, בהפרש של שלוש שנים (כנראה לפי מחזוריות הגשמים); עץ מספר 4 אינו מגיב כלל לשינויים בתיארוך. נמצא כי בעבור 11 עצים מכלל 23 העצים מקבוצה חי-71 יש התאמה טובה בין עובי הטבעת והתיארוך המשווער בעת המדידות; כמו כן נמצאה התאמה טובה באותו מספר של עצים בקבוצת העצים חי-75 ומת-75. לעומת זאת, בקבוצת העצים מת-71 רק 5 עצים הראו התאמה טובה.

היחס שבין עובי הטבעת השנתית לכמות הגשמים

נבדק הקשר בין עובי הטבעת השנתית לבין כמות הגשמים השנתית בכל אחת מארבע קבוצות העצים בנפרד, תוך אימוץ התיארוך המקורי של כל טבעת שנתית. באופן כללי היה מתאם חיובי בין עובי הטבעות (Y) לכמות הגשמים השנתית (X), אך השונות בתגובה היתה רבה ולא נראה הבדל בין ארבע קבוצות העצים. מבדיקה זו ברור שפרמטר "כמות הגשמים השנתית" חייב להיכלל בכל מודל סטטיסטי המיועד לניתוח של מהלך עובי הטבעות השנתיות, והוא עשוי להסביר חלק גדול מהשונות הכללית.

ההשתנות עם הזמן של המשתנים הקשורים בשטח הטבעת השנתית

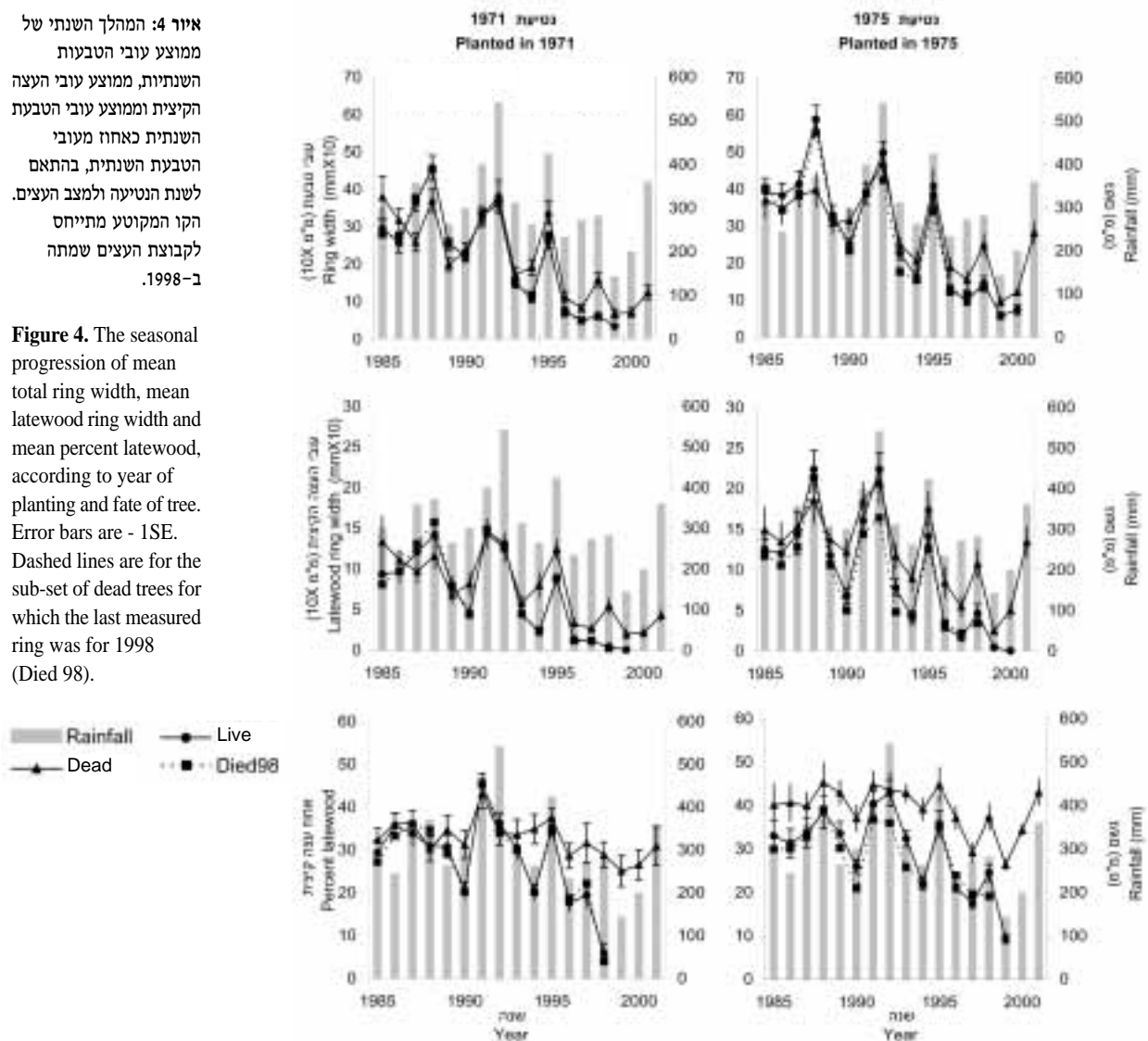
שטח הטבעת פרופורציוני לעוביה ולמרחקה מהמרכז. אם שטח הטבעות הנוצרות מדי שנה אינו משתנה עם הגיל, צפויה ירידה

ההשתנות עם הזמן של משתנים הקשורים בעובי הטבעת השנתית

ההשתנות עם הזמן של 'ממוצעי עובי הטבעת השנתית', של 'ממוצעי עובי העצה המאוחרת' ושל 'ממוצעי עובי העצה

איור 4: המהלך השנתי של ממוצע עובי הטבעות השנתיות, ממוצע עובי העצה הקיצית וממוצע עובי הטבעת השנתית כאחוז מעובי הטבעת השנתית, בהתאם לשנת הנטיעה ולמצב העצים. הקו המקוטע מתייחס לקבוצת העצים שמתה ב-1998.

Figure 4. The seasonal progression of mean total ring width, mean latewood ring width and mean percent latewood, according to year of planting and fate of tree. Error bars are - 1SE. Dashed lines are for the sub-set of dead trees for which the last measured ring was for 1998 (Died 98).

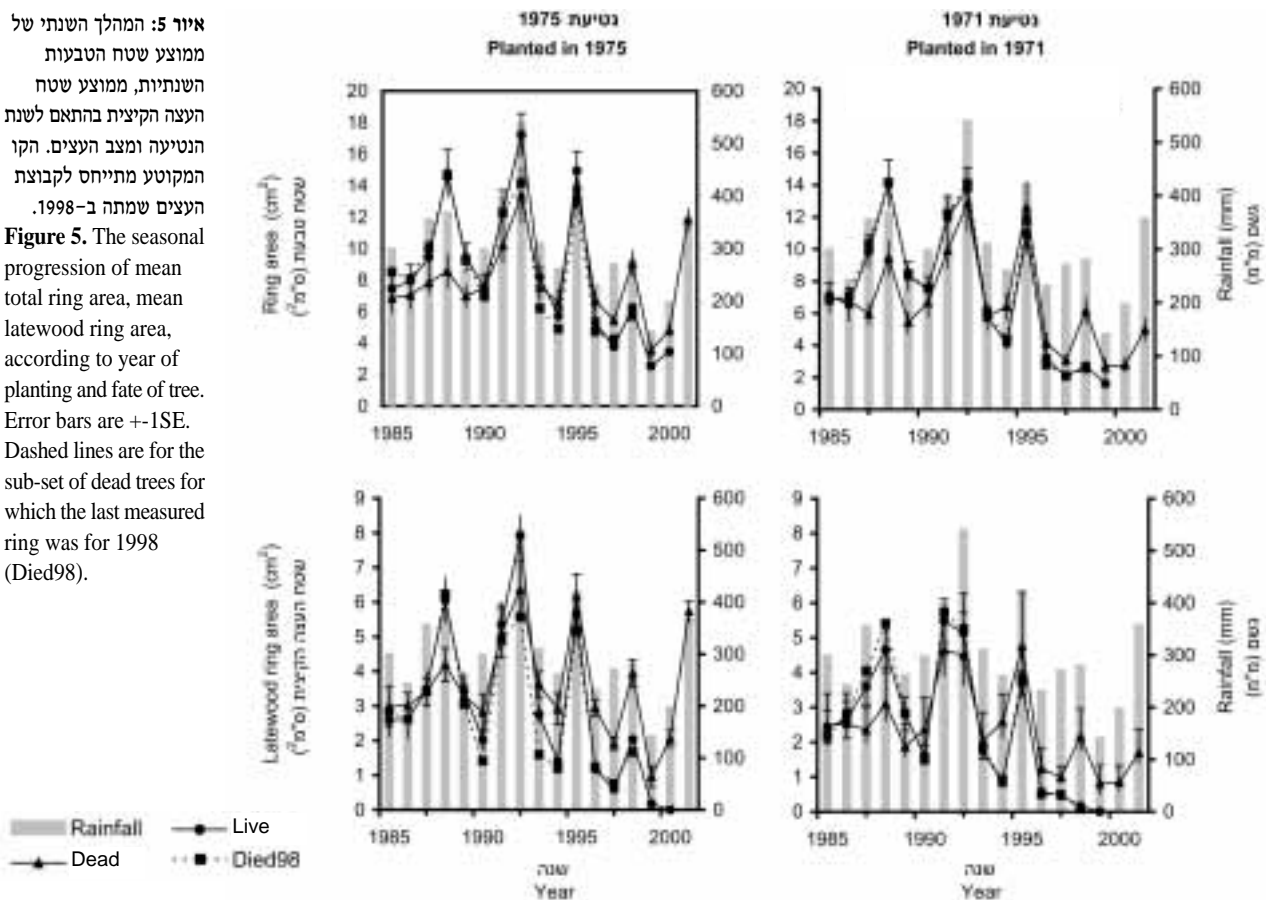


על כל המשתנים של הטבעת השנתית שנבחנו; דבר זה מצביע על תגובה שונה לכמות הגשמים בקבוצת העצים החיים לעומת קבוצת העצים המתים. כאשר הוכנס "גיל העצים" כגורם במשוואות, הגורם "שנת הנטיעה" (Planting year) היה חסר השפעה מובהקת על המשתנים של הטבעת השנתית, אם-כי היתה השפעה כמעט מובהקת ($p=0.0560$ $p=0.0652$) על עובי העצה המאוחרת ושטח העצה המאוחרת בטבעת. "מצב העצים" (חי או מת) היה גורם בעל השפעה רבה מאוד על עובי העצה המאוחרת ועל עובי העצה המאוחרת כאחוז מעובי הטבעת ($p=0.0078$, $p=0.0001$). בדומה לתוצאות ניתוח השונות המוצגות בטבלה 2 נערך ניתוח שונות שכלל את העצים החיים ואת אלו שמתו לאחר 1998 מתוך כלל העצים שמתו. כלומר, עצים מתים שרישום טבעותיהם לא הסתיים ב-1998 לא נכללו בנייתו. מכאן, שכלל הנתונים היה 952. תוצאות הניתוח הזה המובאות בטבלה 3 דומות לאלו המובאות בטבלה 2.

בעוביה ככל שגדל הרדיוס (המרחק מהמרכז). נבדקו השינויים בשטחה של כל טבעת שנתית בהשפעת כמות הגשמים השנתית, גיל העץ (שנת הנטיעה) ו-"מצב העץ" (חי או מת). בדיקה זו אפשרית במקרה שלנו, כי בדיקה קודמת העלתה כי התפלגות אורכי הרדיוסים בחתכי הרוחב דומה בכל אחת מארבע הקבוצות. איור 5 מתאר את ההשתנות עם הזמן של ממוצעי שטח הטבעת השנתית ושטח העצה המאוחרת בטבעת השנתית בהתאם לשנת הנטיעה ולמצב העצים (חי או מת). מהאיור נראית מגמה של ירידה בשטח הטבעות השנתיות עם גיל העץ, בעיקר בשנים המאוחרות יותר, ונראה שגם כאן יש הבדל בין העצים החיים למתים. תוצאות ניתוח השונות (Analysis of variance) במשתני הטבעת השנתית עד שנת 1998 מובאות בטבלה 2. גיל העץ (Tree age), כמות הגשמים (Rainfall) וכן האינטראקציה בין "מצב העץ" (חי או מת) (Status) לבין כמות הגשמים, היו הגורמים המשפיעים ביותר ($p<0.0001$)

איור 5: המהלך השנתי של ממוצע שטח הטבעות השנתיות, ממוצע שטח העצה הקיצית בהתאם לשנת הנטיעה ומצב העצים. הקו המקוטע מתייחס לקבוצת העצים שמתה ב-1998.

Figure 5. The seasonal progression of mean total ring area, mean latewood ring area, according to year of planting and fate of tree. Error bars are $\pm 1SE$. Dashed lines are for the sub-set of dead trees for which the last measured ring was for 1998 (Died98).



of Sap" (=מבנה העצה ועליית המוהל). בספר מבליטים המחברים את תוצאות החישובים השונים הנובעים משיקולים תיאורטיים, ומדגישים כי יש חשיבות מרובה לשמירה על רצף הובלת המים בעצי מחט הגדלים באזורים יובשניים, בפרט כאשר הכוח הנדרש לשם מיצוי המים מהקרע גדול מאוד עקב היובש. עמודת המים בטרנאקאידים רגישה למתח הגדל כתוצאה ממחסור במים בקרקע. כאשר המתח גובר על כוחות הקוהזיה-אדהזיה, התוצאה היא נתק בעמודת המים (cavitation) וכניסת אויר (embolism) המונעים את המשך זרימת המים (conductance). בטרנאקאידים אשר מהווים את העצה המאוחרת, שחתך רוחב החלל הפנימי (לוג'ן) שלהם קטן, כוחות הקוהזיה-אדהזיה בעמודת המים גדולים יותר ומאפשרים לשמור על עמודת מים רציפה, כלומר על הולכת מים בלתי מופרת אם גם בכמויות קטנות מאוד; כמות הטרנאקאידים מתבטאת בעובי העצה המאוחרת כחלק מכלל עובי הטבעת. השאלה שעמדה בבסיס הניתוח הסטטיסטי של עובי הטבעת השנתית ועובי העצה המאוחרת שבטבעת השנתית, היתה: בהתחשב בכמויות הגשמים בכל שנה ושנה, האם גורל העצים כתוב בטבעות השנתיות? כלומר, האם ניתן, בדיעבד, להבדיל בין אוכלוסיית העצים החיים והמתים על-פי תכונות בטבעות השנתיות שהם יצרו בעבר? מאיורים 4 ו-5 נראה בבירור כי העצים אשר מתו כתוצאה מהבצורת בחורף 1998/99 כבר

כמבחן למסקנות הנובעות מהמדידות ומהניתוח נעשה ניסיון "לנבא" בדיעבד, בעזרת ניתוח דיסקרימיננטי (Discriminant analysis), את מצבו של כל עץ (חי או מת) על בסיס המשתנה "עובי הטבעות השנתיות" בכל שנה ושנה. התוצאות ניתנות בטבלה 4. לגבי קבוצת שלושים ושבעה העצים שניטעו בשנת 1971, "מצב העצים" (חי או מת) ניתן היה לניבוי בהסתברות של $p < 0.05$ על סמך חלק מנתוני הטבעת השנתית של שנת 1987, 1989, 1994, 1996 ואילך. רק בעבור 6 עצים בקבוצה זו (16%) נעשתה הצבה שגויה על-פי עובי העצה הקיצית בשנת 1998 (כלומר, עץ חי הוגדר כמת ולהפך). תוצאות הניתוח עבור שנת הנטיעה 1975 היו פחות חד-משמעיות, "מצב העצים" (חי או מת) ניתן היה לניבוי על סמך חלק מנתוני הטבעת השנתית של השנים 1988, 1990, 1993 ושנת 1998, שבה ארבעה משתנים של הטבעת השנתית היו בעלי הסתברות של $p < 0.05$ לניבוי נכון של "מצב העץ" ועתיד החלקה.

דיון

הקשר בין מבנה העצה המשנית לבין מעבר המים באמצעותה היווה נושא מחקר חשוב ורחב הקף בשני העשורים האחרונים. הידע שנצבר מהמחקרים הרבים שנעשו ושֶאֱפָּרַשׁ את גיבוש ההבנה התיאורטית סוכם בידי Tyree & Zimmerman (2002) בספרם "Xylem Structure and the Ascent

טבלה 2: ההסתברויות שהקשרים בין הגורמים במודל לבין המשתנים הבלתי-תלויים (משתני הטבעות השנתיות) הם אקראיים. ניתוח השונות מבוסס על 1240 מדידות טבעת, המהווים את כל הנתונים עבור השנים 1985 עד 1998

Table 2. Probabilities for the main effects and interaction terms in the analysis of variance of the tree-ring variables. Based on all data up to 1998 (n=1240)

<i>p</i> values						
Source of variation	df	Total Ring width	Latewood ring width	Latewood width %	Total ring area	Latewood ring area
Planting Year (PY)	1	0.7863	0.0560	0.2105	0.2617	0.0652
Status	1	0.3180	0.0078	< 0.0001	< 0.3774	0.4602
PY x Status	1	0.6730	0.4000	0.1433	0.8055	0.6243
Tree age	1	0.6730	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Rainfale	1	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
PY x Rainfall	1	0.1069	0.0002	0.4332	0.9014	0.0060
Status x Rainfall	1	0.0096	0.0008	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

טבלה 3: ההסתברויות שהקשרים בין הגורמים במודל לבין המשתנים הבלתי-תלויים (משתני הטבעות השנתיות) הם אקראיים. ניתוח השונות מבוסס על 952 מדידות טבעת, דהינו כל הנתונים עבור השנים 1985 עד 1998 להוציא עצים מתים שרישום טבעותיהם לא הסתיים ב-1998

Table 3. Probabilities for the main effects and interaction terms in the analysis of variance of the tree-ring variables. Based on data up to 1998 for live trees and the Died98 sub-group of dead trees (n=952)

<i>p</i> values						
Source of variation	df	Total Ring width	Latewood ring width	Latewood width %	Total ring area	Latewood ring area
Planting Year (PY)	1	0.8282	0.3407	0.4796	0.5911	0.3486
Status	1	0.1840	0.0077	< 0.0001	< 0.6926	0.3680
PY x Status	1	0.6997	0.1830	0.1218	0.8071	0.3660
Tree age	1	< 0.0001	0.0001	< 0.0001	0.0028	0.0033
Rainfale	1	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
PY x Rainfall	1	0.6274	< 0.0469	< 0.8250	< 0.2047	< 0.5011
Status x Rainfall	1	0.1760	0.1086	< 0.0003	0.0048	0.0078

טבלה 4: ניתוח דיסקרימיננטי של "מצב העץ" (חי או מת) על בסיס משתני הטבעת השנתית בכל שנה. מבוסס על 952 נתונים, המהווים את כל הנתונים עבור השנים 1985 עד 1998 למעט עצים מתים שרישום טבעותיהם לא הסתיים ב-1998

Table 4. Discriminant analysis of tree status (dead or alive) on the basis of the tree-ring variables for individual ring years. Based on data up to 1998 for live trees and the Died98 sub-group of dead trees (n=952). P values < 0.05 are italicizes

<i>p</i> values						
Planting	Ring Year	Total Ring width	Latewood ring width	Latewood width %	Total ring area	Latewood ring area
1971	1985	0.1781	0.2107	0.3171	0.9292	0.7402
	1986	0.4057	0.5486	0.5247	0.8510	0.7384
	1987	<i>0.0069</i>	0.1515	0.9645	<i>0.0050</i>	<i>0.0393</i>
	1988	0.1186	0.1188	0.3624	<i>0.0330</i>	<i>0.0257</i>
	1989	<i>0.0441</i>	0.5872	0.3187	<i>0.0182</i>	0.1617
	1990	0.8229	0.0623	0.0252	0.5252	0.2685
	1991	0.8249	0.8558	0.6960	0.2876	0.3745
	1992	0.7331	0.9346	0.9368	0.6631	0.5695
	1993	0.5323	0.2868	0.5170	0.7993	0.7329
	1994	<i>0.0245</i>	<i>0.0081</i>	<i>0.0037</i>	0.0705	<i>0.0082</i>
	1995	0.1825	0.0521	0.4182	0.7404	0.3393
	1996	<i>0.0372</i>	0.0063	0.0172	0.1069	0.0187
	1997	<i>0.0162</i>	<i>0.0348</i>	0.1532	0.0518	0.0543
	1998	<i>0.0003</i>	<i>0.0001</i>	<i>0.0001</i>	<i>0.0016</i>	<i>0.0003</i>
1975	1988	0.0526	0.5914	0.3600	<i>0.0345</i>	0.2370
	1989	0.7950	0.3143	0.0128	0.2932	0.8361
	1990	0.1000	<i>0.0099</i>	<i>0.0097</i>	0.7811	0.0736
	1991	0.9670	0.2926	0.1606	0.4160	0.8794
	1992	0.5107	0.3429	0.1722	0.8004	0.6731
	1993	<i>0.0424</i>	<i>0.0105</i>	<i>0.0069</i>	0.3978	0.0562
	1994	0.2458	0.0870	<i>0.0028</i>	0.2751	0.0599
	1995	0.3006	0.1688	0.0812	0.7244	0.5241
	1996	0.1278	0.1061	0.0456	0.2445	0.1332
	1997	0.3042	0.0976	0.0728	0.3247	0.0802
	1998	<i>0.0218</i>	<i>0.0161</i>	<i>0.0108</i>	0.0885	<i>0.0472</i>

העצים בעיתות מחסור במים (תופעה המתרחשת לעיתים קרובות יחסית), ימנע תמותה רבה והתמוטטות היערות בשנים של מחסור קיצוני במים. יתרה מזו, צמיחה מואצת בגיל צעיר אינה בהכרח תכונה חיובית שכדאי לברור אותה בתוכניות טיפוח, בשל הסיכונים לתמותה מהירה יותר בעת יובש. לסיכום, הוכחנו כי יש הבדל במבנה הטבעות השנתיות בין שתי קבוצות העצים שנבדקו, אלה שמתו בבצורת ואלה ששרדו. ההבדל הוא כנראה גנטי-פיזיולוגי ואינו נובע מהבדלים בתנאי בית הגידול של כל עץ ועץ. מידע זה מצביע על החשיבות הרבה שיש לייחס לשימוש במקור זרעים המתאים מהבחינה הגנטית והפיזיולוגית לנטיעת יערות בכל אזור גיאוגרפי שבו קיימת הסתברות גבוהה להתרחשות בצורת קשה. זאת היות שהתנאים הקיצוניים הם שקובעים את שרידות היער בעוד שהתנאים הממוצעים קובעים את התפתחות העצים ביער. ראוי לדלל את היערות באזורים הארידיים (כהגדרתם על-ידי גנור 1963) בזהירות רבה ולעיתים קרובות יותר, תוך תשומת לב למופע העצים שחלקם בוודאי משדר עקה קשה. המדדים של עקה זו ניתנים למדידה ביער והמחקר שלהם יקנה כלי ממשק משופרים לניהול יערות באזורים יובשניים.

נבדלו מהעצים החיים מזה שנים אחדות, ובאופן מובהק – רק משנת 1994. ההבדלים הם בעובי הטבעת השנתית, בעובי העצה המאוחרת ובאחוז העצה המאוחרת מכלל עובי הטבעת. באזורים נראה גם, כי העצים שמתו היו בצעירותם בעלי צמיחה נמרצת יותר מאשר העצים אשר שרדו בבצורת. תופעה זו עשויה לנבוע מהבדלים גנטיים-פיזיולוגיים בין שתי קבוצות העצים, אלו שמתו ואלו ששרדו. תופעה דומה נמצאה בבדיקות דנדורונולוגיות שנעשו בעצי אורן ירושלים פגועים ובריאים ביער שער-הגיא כאשר החלה בו ההתמוטטות בשנת 1973 (שילר 1975; Schiller, 1977). שם הוכח כי העצים הפגועים והבריאים ביער נבדלו בהבט הגנטי (הרכב השרף בעצה) (Opal 1978), והוכחה הימצאותם של גנוטיפים רבים ושונים ביער, שמקורם באזורים גיאוגרפיים סביב אגן הים התיכון (Grünwald et al. 1986).

באין ידע מוסמך (כגון ספר היער) על מקורות הזרעים שביער כרמים, על מועדי הדילולים ועל אופן בחירת העצים לדילול, קשה לקשר בין הפעילות היערנית והתמותה בשטח, דבר שהוא בעל חשיבות כדי שאפשר יהיה לקדם את פני הרעה (בצורת קשה) ביערות. יתכן שדילול תוך תשומת לב רבה יותר למופע

מקורות

הורוביץ, ט', יום-טוב, י', 2003. ניתוח אקלימי של התקופה שבין אפריל 1998 לינואר 2000 כרקע להבנת התופעה של התייבשות עצי יער. יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה 3, עמודים 8-12.

שילר, ג', 1975. סקר התפתחות היער. דו"ח צוות המחקר על התייבשות עצי אורן ירושלים ביער שער הגיא. המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית-דגן, עמודים: 3-7.

- Cherubini, P., Gartner, B., Tognetti, R., Bräker, O. U., Schoch, W., & Innes, J. I., 2003. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. *Biological Review* 78: 119-148
- Fritts, H. C., 1974. Relationships of ring widths in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation. *Ecological Monographs* 44: 411-440
- Ganor, E., 1963. The variability of the aridity boundary in Israel. *La-Yaaran* 4: 136-142. (Hebrew with English summary)
- Grünwald Clara, Schiller, G., & Conkle, M.T. (1986). Isoenzyme variation among native stands and plantations of Aleppo pine in Israel. *Israel Journal of Botany* 35: 161-174
- Korol, L., Shklar Galina & Schiller, G., 2001. Site influences on the genetic variation and structure of *Pinus halepensis* Mill. provenances. *Forest Genetics* 8: 295-305
- Korol, L., Shklar Galina & Schiller, G., 2002. Genetic variation within *Pinus halepensis* Mill. provenances growing in different microenvironments in Israel. *Israel J. of Plant Sciences* 50: 135-143
- Lev-Yadun, S., 2000. Wood structure and the ecology of annual growth ring formation in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. In: G. Ne'eman & L. Trabaud (eds): *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean basin. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 68-78
- Opal, Y., 1978. "Studies of morphological and chemical properties of *Pinus halepensis* Mill. in the Sha'ar ha'Gay forest. Thesis submitted to ORT, School of Technicians, Kefar Sabba
- Rigling, A., Bräker, O., Schneiter, G., & Schweingruber, F., 2002. Intra-annual tree-ring parameters indicating differences in drought stress of *Pinus silvestris* forests within the Erico-Pinion in the Valais. *Plant Ecology* 163: 105-121
- Schiller, G., 1977. Interrelations between site factors and performance of Aleppo pine in the Sha'ar ha'Gay forest. *La-Yaaran* 27: 13-23. (Hebrew with English summary)
- Tyree, M. T., & Zimmerman, M. H., 2002. *Xylem Structure and the Ascent of Sap*. 2nd edition, Timell, T. E. (ed), Springer Series in Wood Science, Springer, Berlin, 283 pp.